干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2020.01.21

景电灌区移民对祁连山植被恢复的相对生态价值①

赵建林[1]，康德奎[1]，彭维恩[1]，王建礼[1]，史中兴[1]，陈天顺[1]，
董志洋[1]，汪　杰[2]，常兆丰[2]
（1　甘肃省景泰川电力提灌管理局，甘肃　景泰　730499；2　甘肃省治沙研究所，甘肃　兰州　730070）

摘　要：近些年来，生态系统的服务价值研究已成为生态学以及生态经济学领域中的一个热点问题。祁连山被称为伸进西北干旱区的一座湿岛，在我国“一带一路”建设中占有重要地位。景电灌区兴建以来从祁连山移出了大量农牧民。那么，景电灌区移民对祁连山植被恢复的生态价值如何呢？以景电灌区移民涉及到的祁连山东端景泰、古浪、天祝3县山区为研究区，用价值工程方法对从祁连山区向景电灌区移民退耕退牧还林还草的生态价值做了分析，并与模型因子当量法的计算结果进行了比较。结果表明：祁连山向景电灌区移民退耕退牧还林还草总的生态价值为37.458 1×10^8 元。其中，退耕还林还草的生态价值为37.438 6×10^8 元，退牧后草场植被盖度增加的生态价值为194.79×10^4 元。计算结果为用COSTANZA和谢高地模型因子当量法计算得的祁连山向景电灌区移民退耕退牧还林还草总的生态服务价值40.054 0×10^8 元的93.52%。两种方法计算结果祁连山向景电灌区移民退耕退牧还林还草总的生态价值为景电工程年总成本1.45×10^8 元的25.8～27.6倍。两种计算结果一致表明，景电灌区生态移民对祁连山植被恢复的生态价值十分突出。由此也可以看出，COSTANZA和谢高地模型因子当量法适用于祁连山的生态服务价值分析。

关 键 词： 祁连山；景电灌区；退耕退牧；还林还草；相对生态价值

生态系统服务价值评价是近些年来的一个研究热点。生态系统服务功能的概念是1970年联合国大学（United Nations University）发表的《人类对全球环境的影响报告》中首次提出的。40多年来，国内外学者进行了广泛的研究。研究内容包括全球生态系统[1-5]、森林生态系统[6-7]、草地生态系统[8-9]、湿地系统[10-12]、河流生态系统[13-14]和绿洲生态系统[15]以及荒漠生态系统[16]等各方面，研究的地域范围多为大、中尺度。

1997年COSTANZA等在Nature上发表的“The value of the world's ecosystem services and natural capital”[1]一文，明确了生态系统服务价值估算的原理和方法，从而引领了全球生态系统服务价值研究的主流，之后，国内外生态服务价值研究大多是对COSTANZA模型的应用和拓展[17-19]。我国学者谢高地等人在COSTANZA等[1]的基础上，通过对国内200多名生态学者进行问卷调查，制定出了我国生态系统生态服务价值因子当量表。之后，国内相关的研究基本上是对COSTANZA和谢高地[20-21]的模型因子当量法的具体化或区域化的研究，如中国草地生态价值评估[22]、额济纳旗生态系统恢复的总经济价值[23]，以及荒漠/沙漠、荒漠绿洲、沙地的生态服务价值等[24-29]。

祁连山位于青海省东北部与甘肃省西部边境，地处青藏、蒙新、黄土3大高原交汇地带。祁连山是黄河流域重要水源产流地，被称为是伸进西北干旱区的一座湿岛，祁连山发育着冰川，养育着河西走廊，保护着古丝绸之路，在国家“一带一路”中占有重要地位。1980年国务院确定祁连山水源涵养林为国家重点水源涵养林区。景电灌区位于腾格里沙漠南缘及西侧，始建于1969年。景电工程建成以来，从祁连山东段的景泰、古浪、天祝山区移民

① **收稿日期：** 2019-05-24；**修订日期：** 2019-08-27
基金项目： 甘肃省重点研发计划（18YF1FA028）
作者简介： 赵建林（1961-），男，甘肃靖远县人，汉族，硕士，副研究员，主要从事水电和林业生态研究. E-mail：czf123582@sina.com

27.958×10^4 人，退耕 13.929×10^4 hm^2，退牧 66.385×10^4 只（羊单位）。那么，景电工程从祁连山东段移民退耕退牧对缓解祁连山东段生态压力的贡献有多大？为此，本文作者曾运用 COSTANZA 等[1]和谢高地等[19]的模型因子当量法做了初步估算。然而，要获得一定的功能，总是要或多或少地、直接或间接地支付一定的费用。人类在改造自然的活动中，总是希望以最小的投入获得最大的功能。政治经济学中对价值的定义是凝结在商品中的人类一般劳动。传统价值工程方法中的价值即为功能与成本的比值[30-31]。鉴于此，本文运用价值工程方法对景电灌区从祁连山移民退耕退牧的生态价值进行探索分析，以资讨论。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

祁连山位于甘肃河西走廊西南侧，由多条西北—东南走向的平行山脉和宽谷组成，大致东南—西北走向，东南—西北长约 800 km，西南—东北方向宽 200～400 km，海拔 4 000～6 000 m 之间，海拔 4 000 m 以上的山峰终年积雪，有冰川3 306 条，冰川面积约 2 062 km^2。祁连山东段分属于景泰、天祝、古浪境内。东段北坡植被垂直带谱自下而上为：荒漠带（只有草原化荒漠亚带）—山地草原带—山地森林草原带—高山灌丛草甸带—高山亚冰雪稀疏植被带。长期以来，山区居住有大量农牧民。

景电灌区位于腾格里沙漠南缘及西侧。景电工程设计年提水 4.76×10^8 m^3。一期工程 1969 年 10 月开工～1971 年 10 月建成；二期工程 1976 年 10 月开工（1977 年 11 月～1984 年 6 月因资金问题缓建）～1994 年建成。景电灌区包括甘肃的景泰灌区、古浪灌区、民勤灌区和内蒙古的阿拉善左旗（以下简称阿左旗）共 4 个灌区。景泰灌区、古浪灌区和阿左旗灌区总面积约 6.4×10^4 hm^2，民勤灌区为补给性灌区（图 1）。

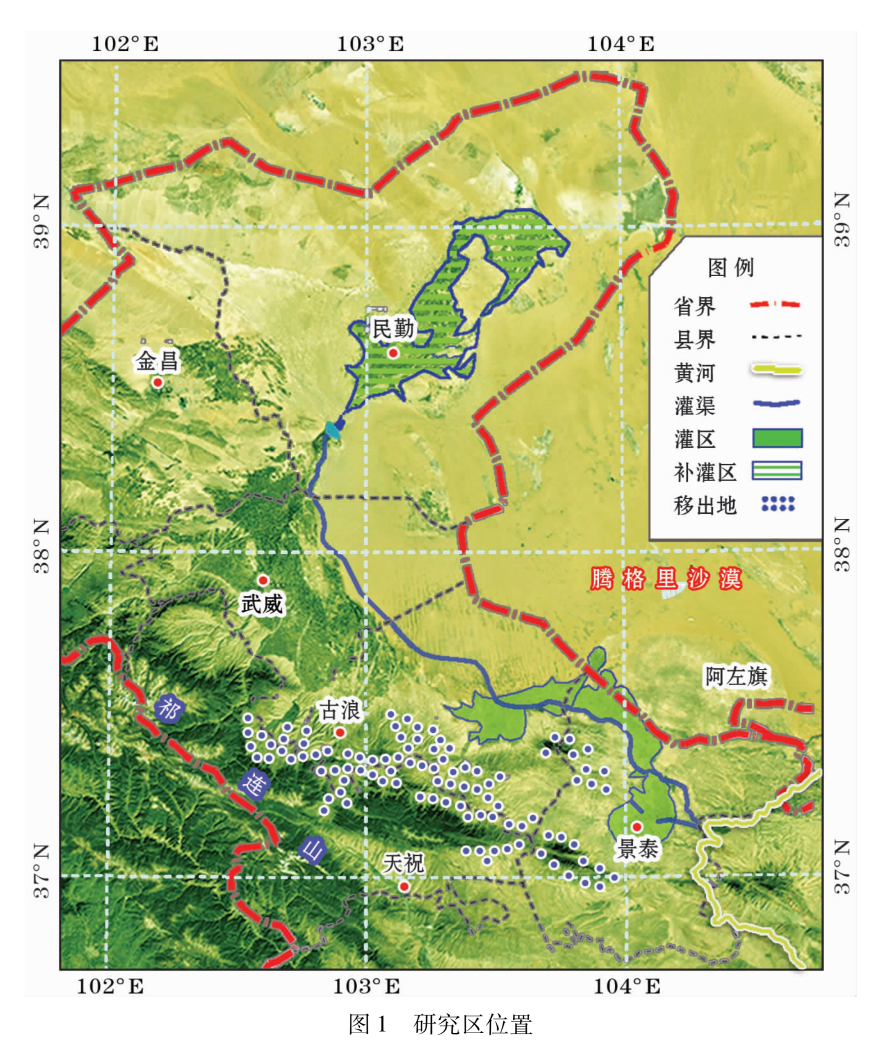


图 1 研究区位置

Fig. 1 Location of the study area

1.2 数据来源与分析方法

退耕退牧还林还草面积从各县林业部门获得，包括退耕面积、还林（乔木和灌木）面积、退牧单只数、还草面积等。林地和草地植被盖度、植物高度由样点调查获得。2016 年山区种植业投入产出资料由农户调查获得。植被数据运用 2016 年底遥感图像结合样点植被盖度和植物高度调查获得。

生态功能：植物群落的生态功能一般用植被盖度表示[32]。而且，植株越高，其防护范围就越大，因此植株高度也是生态功能的一个重要标志。植被的生态功能用以下公式[33-34]计算：

$$R_u = \frac{m}{12}\left(\sum_{j=1}^{l-1}\frac{C}{2^{j-1}} + \frac{C}{2^l}\times\frac{(h-l\times 30)}{30}\right) \quad (1)$$

式中：F_u 为以植被盖度表示的生态功能；m 为在一年当中植被覆盖地表的月份；C 为冠层盖度；h 为植株冠幅高度；30 为小灌木和草本植物的平均高度（分层的基准高度，cm）；$l=\text{int}(h/30)$。

换算系数：换算系数定义为单位植被盖度对应的生态价值。以（1）式中计算得的生态功能的单位是植被盖度。用以（2）式[33-34]将以盖度表示的生态功能换算为以货币表示的单位价值：

$$V_e = \frac{O}{\frac{F_u}{C_u} - \frac{F_u}{C_u - O}} \quad (2)$$

式中：V_e 为换算系数；O 为单位成本；C_u 为单位产值。

价值系数与单位价值：价值系数即为单位功能与单位成本的比值，用（3）式计算。单位价值即为 1 hm^2 植被的生态价值，用（4）式计算：

$$V_c = \frac{F_u}{C_u} \quad (3)$$

$$V_u = V_e \times V_c \quad (4)$$

式中：V_c 为价值系数；V_u 为单位价值。

相对生态价值：相对生态价值以相对生态功能与对应的成本的比值即产出投入比[15]表示，见（5）式：

$$V = A \times V_u \quad (5)$$

式中：V 为植被功能的相对生态价值；A 为植被面积。

2 结果与分析

2.1 退耕退牧还林还草的生态功能

按行政区划，祁连山东端分属于景泰、天祝、古浪 3 县。截止 2016 年年底，从祁连山东端向景电灌区移民 27.958×10^4 人，退耕 13.929×10^4 hm^2，退牧 66.385×10^4 只（羊单位），退出草场面积 43.387×10^4 hm^2。天祝县为藏族自治县，山区大部分为牧民，移民过程中没有退耕地，只有退牧面积（表 1、表 2）。

从祁连山山区移民，退耕退牧，在退耕地上形成乔木林面积 812.0 hm^2，在退耕地和原牧民点形成灌木林 81 167 hm^2，草地 57 306 hm^2，乔：灌：草的比例为 1：100：71（表 2）。乔木树种主要有青海云杉（*Picea crassifolia*）、山杏（*Armeniaca sibirica*）和榆树（*Ulmus pumila*）等。退耕地形成的灌木主要有沙棘（*Hippophae rhamnoides*）、柠条（*Caragana korshinskii*）、小叶锦鸡儿（*Caragana microphylla*）、紫菀木（*Asterothamnus centrali-asiaticus*）和蒿属（*Artemisia*）植物等。草本植物主要有灰条（*Chenopodium album*）、骆驼蓬（*Peganum harmala*）等。古浪县城东南山区和景泰县南部山区退耕地植被盖度相对较高，而古浪北山（县城东北侧）和景泰县北部碳窑山一带退耕地植被盖度相对较低。

祁连山区草场退牧前后植被盖度平均增加 11.5%。其中，景泰县山区退牧前后植被盖度平均增加 11% 左右，古浪县山区退牧前后植被盖度平均增加 11.5%，天祝县退牧草场植被盖度增加 12.0%。由（1）式计算得各县退耕地和退牧地的生态功能和单位面积的生态功能（表 2），表 2 最右一列为按面积比例计算的加权平均值。

表 1 截止 2016 年底从祁连山向景电灌区移民退耕及还林情况

Tab.1 Grain for green by migration from Qilian Mountains to Jingdian irrigation area by the end of 2016

地名	移出地			移入地
	移出人口 / 10^4 人	退耕 / 10^4 hm^2	退牧（羊数量）/ 10^4 只	
景泰县	12.630	6.315	29.049	景泰灌区
古浪县	15.227	7.614	35.022	古浪灌区
天祝县	0.101	0	2.314	古浪灌区
合计	27.958	13.929	66.385	

表 2　2016 年祁连山退耕退牧还林的生态功能

Tab. 2　Ecological function of returning farmland and grazing land to forest in Qilian Mountains of 2016

		退耕地植被				原有植被				生态功能	
		面积 / hm^2	平均高度 / cm	平均盖度 / %	单位功能	面积 / hm^2	平均高度 / cm	新增盖度 / %	单位功能	加权合计	加权平均
景泰县	乔木	435.0	375.0	68.0	1.36					591.49	1.36
	灌木	10 232.0	63.6	84.9	1.30					13 291.06	1.30
	草本	52 483.0	35.0	40.0	0.43	193 660.0	35	11.0	0.17	55 584.14	0.23
古浪县	乔木	377.0	325.0	57.8	1.16					435.56	1.16
	灌木	7 935.0	62.0	85.4	1.30					91 877.38	1.30
	草本	4 823.0	30.0	45.5	0.46	233 480.0	35	11.5	0.18	43 588.52	0.18
天祝县	草本					6 733.3	30	12.0	0.16	1 077.33	0.16

2.2　退耕的机会成本

退耕的机会成本即由于退耕,放弃了农业生产的机会而产生的成本,亦即损失的农业生产的净产值。

前述已知,天祝县移出的是牧民,移民过程中没有退耕地。景泰县从祁连山移民移出区退耕前山地农作物主要是小麦,其次是豆类、大麦和洋芋,平均种植面积分别占 75%、15%、8% 和 2%。古浪县从祁连山移民移出区退耕前山地农作物亦主要为小麦,其次是谷子和糜子、洋芋和胡麻等,平均种植面积分别占 80%、15%、3% 和 2%。山区(移出区)农业"靠天吃饭",从不投入化肥、农药等,投入项最大的是畜力,其中洋芋的投入成本略高(表 3),其中,加权平均亦为按面积比例加权计算所得。投入项成本价格和产出项产量及产品价格均按 2016 年底当地价格计算,由表 3 可见,景泰和古浪两县移出区的单位面积投入成本相差甚微。

在产出项中,单位产值和单位净产值古浪山区相对较高,但因种植结构略有不同,加之古浪山区投入成本略高,故而按种植面积加权的单位净产值景泰县山区略高于古浪山区。

2.3　退耕退牧还林还草的生态价值

山地农作物密度普遍很低。在表 3 中的几种农作物中,洋芋的植被盖度略高,而胡麻的植被盖度最低,其次是小麦。表 3 中两县山区(移出区)农作物植被盖度平均以 40% 计。大麦和小麦植株较高,而洋芋和豆类的植株高度很低,各种农作物平均植被高度以 30 cm 计,生长期(植被覆盖期)为 4 个月。用(2)式计算得景泰山区的换算系数为 $3\ 202.57\times10^4$ 元,古浪山区的换算系数为 $3\ 149.93\times10^4$ 元。天祝山区无退耕地(表 1),其换算系数以古浪山区和景泰山区的平均值计。

在求得了换算系数之后,即可以(3)式和(4)式分别计算景泰山区、古浪山区和天祝山区退耕退牧还林还草的价值系数和单位价值,最后用(5)式计算得祁连山区向景电灌区移民退耕退牧还林还草总的生态价值为 $37.458\ 1\times10^8$ 元,其中退耕还林还草 的生态价值为 $37.438\ 6\times10^8$ 元,退牧后草场植

表 3　2016 年祁连山山地农业投入产出

Tab. 3　Input-output of mountain agriculture in Qilian Mountains of 2016

	农作物	面积比 / %	投入 / 元·hm^{-2}				产出 / 元·hm^{-2}		
			种子	畜力	其他	小计	产量	产值	净产值
景泰县	小麦	75	210	750	150	1 110.0	1 200	3 390.0	2 280.0
	豆类	15	150	750	150	1 050.0	1 125	3 562.5	2 512.5
	大麦	8	180	750	150	1 080.0	1 275	3 555.0	2 475.0
	洋芋	2	150	1 125	150	1 425.0	2 625	2 700.0	1 275.0
	加权平均					1 104.9			2 310.4
古浪县	小麦	80	210	750	150	1 110.0	1 200	3 390.0	2 280.0
	谷子,糜子	15	150	750	150	1 050.0	1 200	3 390.0	2 340.0
	洋芋	3	150	1 125	150	1 425.0	2 775	2 820.0	1 395.0
	胡麻	2	180	750	150	1 080.0	1 125	5 250.0	4 170.0
	加权平均					1 109.9			2 300.3

表 4　2016 年祁连山退耕退牧还林还草的生态价值

Tab. 4　Ecological value of returning farmland and grazing land to forest in Qilian Mountains

		换算系数	价值系数		单位价值 / 10^4 元		相对生态价值 / 10^4 元	
			退耕地	退牧草场	退耕地	退牧草场	退耕地	退牧草场
景泰县	乔木	3 202.574 5	0.001 2		3.941		1 714.45	
	灌木		0.001 2		3.765		38 524.40	
	草本		0.000 4	0.000 15	1.256	0.000 44	65 919.97	86.15
古浪县	乔木	3 149.929 5	0.001 0		3.279		1 236.20	
	灌木		0.001 2		3.676		260 762.50	
	草本		0.000 4	0.000 16	1.291	0.000 45	6 228.24	105.85
天祝县	草本			0.000 14		0.000 41		2.78
合计							374 385.76	194.79

被盖度增加的生态价值为 194.79 × 10^4 元。3 个县退耕退牧还林还草的生态价值分别为：景泰山区退耕还林还草的生态价值为 10.615 9 × 10^8 元，退牧草场植被盖度增加的生态价值为 86.15 × 10^4 元，两项合计 10.624 5 × 10^8 元。古浪山区退耕还林还草的生态价值为 26.822 7 × 10^8 元，退牧草场植被盖度增加的生态价值为 105.85 × 10^4 元，两项合计 26.833 3 × 10^8 元，古浪县相对最高。天祝山区无退耕，退牧草场植被盖度增加的生态价值仅为 2.78 × 10^4 元（表 4）。

祁连山山地退耕还林还草的平均生态价值为 26 879.1元 · hm^{-2}，是退耕前年农业净产值 2 305.35 元 · hm^{-2}的 11.66 倍。退牧后植被盖度增加的生态价值仅为 4.490 元 · hm^{-2}。

3　讨 论

（1）在谢高地等生态系统服务价值当量因子中[19, 21]，森林、草原、农田防沙的当量也是最高的。前述有关干旱荒漠区生态系统服务功能的研究中，林地、草地和农田等植被的生态服务价值亦最高[25－28]。塔里木盆地南缘的山地—绿洲—荒漠系统研究结果表明，林地面积的减少是生态系统服务价值减少的主要原因[35]。张林静等[32]对新疆阜康绿洲荒漠过渡带主要植物种的生态位研究表明，植被盖度完全可以表征不同植物在荒漠生态系统中的功能地位。因此，本文以植被盖度作为植被因子的生态功能。然而，植被盖度的分层累加是个无量纲值，要计算其价值就必须将其货币化。退耕退牧都会产生机会成本，但唯有退耕的投入产出明晰。谢高地等[19]是以单位面积农田食物生产为基础确定中国陆地生态系统服务价值因子当量。因而本文亦采用退耕的机会成本换算得到了当地退耕退牧还林还草的换算系数，本文作者曾参与用此方法计算过靖远县永新乡荒山退耕还林的生态价值[33－34]。

（2）本文的价值换算系数是由研究对象的产值和成本导出的，其反映了研究对象真实的货币价值。不同研究区域、不同研究对象的价值换算系数不同，从而克服了以往套用他人研究成果和专家打分评定功能价值的做法，尤其是不同研究区域之间套用价值系数的缺陷。不仅如此，采用该方法该实际测算的功能价值，还实现了在生态功能评价中不同生态功能价值的可比性。该方法可以用于不同植被类型、不同盖度的植被的生态价值的估算和评价，从而解决了退耕还林前后生态价值评价的难点。

（3）价值工程中的价值是功能与成本的比值[30－31]，反映了投资的经济性和合理性，亦即在生态环境建设中，我们应选择投资价值高（功能成本比高）措施。虽然我们还无法准确地判定生态系统中某些生态指标的单位价值，但我们可以确定一个相对的价值，以相对价值比较分析生态系统中各种指标的作用和贡献大小，由此决定生态指标的排序或取舍以及投资决策。本文通过从成本中扣除种植业净产值的方法实现了不同生态功能的相对价值换算，这便是本文的第一个创新点。运用相对生态价值进行排序比较是本文的又一个创新点。

（4）作者曾经就不同高度的木本植物和草本植物的生态防护功能作过比较分析[34]，以草本植物的高度为一个基本层高，将木本植物的冠层按草本植物高度分为若干层，由地面向上，第 1 层为基本层，按其盖度计算生态功能值；上一层的生态功能值按下一层的 1/2 计算，依此类推，第 $n+1$ 层的生态功能值以第 n 层的 1/2 计算。以此方法计算不同植物高度的生态功能差异，从而统一乔木、灌木和草本植

物之间生态功能的计算。

(5) 本文分析结果显示,祁连山山地退耕还林还草的生态价值十分显著,而退牧后植被盖度增加的生态价值很小。由此可见,轻度放牧对祁连山东端植被影响甚微,放牧影响 11.5% 的植被盖度大体与一年当中植被新生的生物量相当。但山区牧民生活贫困,教育、交通、就医等条件差,从改善祁连山东端牧民生活质量考虑,向灌区移民无疑是正确的选择。

(6) 有学者认为,运用模型因子当量法不同作者对同一对象的研究结果相差甚远[36-37]。作者等亦用 COSTANZA 等[1]和谢高地等[19]的模型因子当量法对祁连山景电灌区移民退耕还林还草的生态服务价值做了计算:景电灌区从移民退耕退牧对祁连山的生态服务价值为 $40.054\ 0 \times 10^8$ 元,其中,还耕还林还草产生的生态服务价值 $26.462\ 6 \times 10^8$ 元,退牧后植被盖度增加产生的生态服务价值为 $13.591\ 4 \times 10^8$ 元。本文用价值工程方法计算得的景电灌区从移民退耕退牧对祁连山的生态价值为 $37.458\ 1 \times 10^8$ 元,为以 COSTANZA 和谢高地模型因子当量法计算得的祁连山向景电灌区移民退耕退牧还林还草总的生态服务价值的 93.52%。由此可见,COSTANZA 和谢高地模型因子当量法适用于祁连山的生态服务价值分析,区别只是结构上的差别(表 5)。

表 5 本方法计算结果与模型因子当量法的计算结果比较

Tab. 5 Comparison of calculation results with the method and the factor equivalent method

	退耕地 / 10^4 元			退牧草场 / 10^4 元	总的 / 10^4 元
	乔木	灌木	草地		
价值工程法	2 950.7	299 286.9	72 148.2	194.8	374 580.6
因子当量法	5 980.5	258 646.1		135 914.3	400 540.4

4 结 论

祁连山向景电灌区移民退耕退牧还林还草总的生态价值为 $37.458\ 1 \times 10^8$ 元。其中,退耕还林还草的生态价值为 $37.438\ 6 \times 10^8$ 元,退牧后草场植被盖度增加的生态价值为 194.79×10^4 元。祁连山向景电灌区移民退耕退牧还林还草总的生态价值为景电工程年总成本 1.45×10^8 元的 25.8 倍。祁连山山地退耕还林还草的平均生态价值是退耕前年农业净产值的 11.66 倍,效果十分显著。而退牧后山地植被盖度增加的生态价值较低,在经济上是不合算的。

本文计算结果为用 COSTANZA 和谢高地模型因子当量法计算得的祁连山向景电灌区移民退耕退牧还林还草总的生态服务价值的 93.52%。两种计算结果一致表明,景电灌区对祁连山植被恢复的生态价值十分突出。由此还可以看出,COSTANZA 和谢高地模型因子当量法适用于祁连山的生态服务价值分析。从成本中扣除种植业净产值可实现不同生态功能的相对价值换算,这便是本文的第一个创新点,对相对生态价值进行排序比较是本文的又一个创新点。

参考文献(References)

[1] COSTANZA R, D'ARGE R, de GROOT R, et a1. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 386: 253-260.

[2] PIMENTAL D, WILSON C, Mc CULUM A. Economic and environmental benefits of biodiversity[J]. Bioscience, 1997, 47(11): 747-757.

[3] SERAFY S E. Pricing the invaluable: The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Ecological Economics, 1998, 25(1): 25-27.

[4] World Resources Institute. Millennium ecosystem assessment: Frameworks[R]. Washington D C, 2005.

[5] 谢高地,鲁春霞,成升魁. 全球生态系统服务价值评估研究进展[J]. 资源科学,2001,23(6):5-9. [XIE Gaodi, LU Chunxia, CHENG Shengkui. Progress in evaluating the global ecosystem services[J]. Resources Science, 2001, 23(6): 5-9.]

[6] PEARCE D W. The economic value of forest ecosystems[J]. Ecosystcm Health, 2001, 7(4): 284-296.

[7] 王兵,魏江生,胡文. 中国灌木林—经济林—竹林的生态系统服务功能评估[J]. 生态学报,2011,31(7):1936-1945. [WANG Bing, WEI Jiangsheng, HU Wen. The assessment of forest ecosystem evaluation for shrubbery-economic forest-bamboo forest in China[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(7): 1936-1945.]

[8] 谢高地,张钇锂,鲁春霞,等. 中国自然草地生态系统服务价值[J]. 自然资源学报,2001,16(1):47-53. [XIE Gaodi, ZHANG Yili, LU Chunxia, et al. Study on valuation of rangeland ecosystem services of China[J]. Journal of Natural Resources, 2001b, 16(1): 47-53.]

[9] ZHAO T Q, OUYANG Z Y, JIANG L Q, et a1. Ecosystem services and their valuation of China grassland[J]. Acta Ecologies Sinica, 2004, 24(6): 1101-1110.

[10] TURNER R, BERGH, JEREON C, et a1. Ecological-economic analysis of wetlands: Scientific integration for management and policy[J]. Ecological Economics, 2000, 35: 7-23.

[11] 庞丙亮,崔丽娟,马牧源,等. 若尔盖高寒湿地生态系统服务价值评价[J]. 湿地科学,2014,12(3):273-278. [PANG Bingli-

ang,CUI Lijuan,MA Muyuan,et al. Evaluation of ecosystem services valuation of alpine wetlands in Zoige Plateau[J]. Wetland Science,2014,12(3):273－278.]

[12] ZHANG H,WANG Q,LI G Y,et al. Losses of ecosystem service values in the Taihu Lake Basin from 1979 to 2010[J]. Front Earth Sci,2017,11(2):310－320.

[13] 邓铭江,樊自立,徐海量,等. 塔里木河流域生态功能区划研究[J]. 干旱区地理,2017,40(4):705－717. [DENG Mingjiang, FAN Zili,XU Hailiang,et al. Ecological function regionalization of Tarim River Basin[J]. Arid Land Geography,2017,40(4):705－717.]

[14] 周德成,罗格平,许文强,等. 1960—2008 年阿克苏河流域生态系统服务价值动[J]. 应用生态学报,2010,21(2):399－408. [ZHOU Decheng,LUO Geping,XU Wenqiang,et al. Dynamics of ecosystem services value in Aksu River watershed in 1960—2008[J]. Chinese Journal Applied Ecology,2010,21(2):399－408.]

[15] 姚远,丁建丽,王刚,等. 土库曼斯坦穆尔加布—捷詹绿洲生态系统服务价值对土地利用变化的响应[J]. 干旱区地理,2014,37(1):134－143. [YAO Yuan,DING Jianli,WANG Gang,et al. Response of ecosystem services value to land use change in Murghab-Tejen oasis, Turkmenistan [J]. Arid Land Geography, 2014,37(1):134－143.]

[16] 常兆丰,张大彪,段晓峰,等. 基于分层投影盖度的荒漠植被相对生态功能测定[J]. 干旱区地理,2016,39(4):777－784. [CHANG Zhaofeng,ZHANG Dabiao,DUAN Xiao-feng,et al. Determination of relative ecological function of desert vegetation based on layered projection cover[J]. Arid Land Geography,2016,39(4):777－784.]

[17] DAILY G C,SODERQUIST T,ANIYAR S,et al. The value of nature and the nature of value[J]. Science,2000,289:395－396.

[18] KROEGER T,MANALO P. Economic benefits provided by natural lands:Cose study of California's Mojave Desert[R]. Defenders of Wildlife,July,2007.

[19] 谢高地,鲁春霞,冷允法,等. 青藏高原生态资产的价值评估[J]. 自然资源学报,2003,18(2):189－196. [XIE Gaodi,LU Chunxia,LENG Yunfang,et al. Ecological assets valuation of Tibetan Plateau[J]. Journal of Natural Resources,2003,18(2):189－196.]

[20] 谢高地,甄霖,鲁春霞,等. 一个基于专家知识的生态系统服务价值化方法[J]. 自然资源学报,2008,23(5):911－919. [XIE Gaodi,ZHEN Lin,LU Chunxia,et al. Expert knowledge based valuation method of ecosystem services in China[J]. Journal of Natural Resources,2008,23(5):911－919.]

[21] 谢高地,张彩霞,张雷明,等. 基于单位面积价值当量因子的生态系统服务价值化方法改进[J]. 自然资源学报,2015,30(8):1243－1254. [XIE Gaodi,ZHANG Caixia,ZHANG Leiming,et al. Improvement of the evaluation method for ecosystem service value based on per unit area[J]. Journal of Natural Resources,2015,30(8):1243－1254.]

[22] 王瑞杰,覃志豪. 基于 MODIS 数据的中国草地生态体系价值估算研究[J]. 中国草地学报,2007,29(1):50－54. [WANG Ruijie,QIN Zhihao. Valuation of Chinese grassland ecosystem services using Modis data[J]. Chinese Journal of Grassland,2007,29(1):50－54.]

[23] 徐中民,张志强,程国栋,等. 额济纳旗生态系统恢复的总经济价值评估[J]. 地理学报,2002,57(1):107－116. [XU Zhongmin,ZHANG Zhiqiang,CHENG Guodong,et al. Measuring the total economic value of restoring ejina banner's ecosystem services [J]. Acta Geographica Sinica,2002,57(1):107－116.]

[24] 张华,张爱平,杨俊. 科尔沁沙地生态系统服务价值变化研究[J]. 中国人口·资源与环境,2007,17(3):60－65. [ZHANG Hua,ZHANG Aiping,YANG Jun. Effects of land use change on ecosystem service values of Horqin sandy land[J]. China Population,Resources and Environment,2007,17(3):60－65.]

[25] 马国军,林栋. 石羊河流域生态系统服务功能经济价值评估[J]. 中国沙漠,2009,29(6):1173－1177. [MA Guojun,LIN Dong. Evaluation on economic value of ecosystem services in Shiyang River Basin[J]. Journal of Desert Research,2009,29(6):1173－1177.]

[26] 杨春利,白永平. 干旱区绿洲生态系统服务价值功能的评估[J]. 干旱地区农业研究,2009,27,(5):230－234. [YANG Chunli ,BAI Yongping. Evaluation of the ecosystem service's value function of an oasis in arid areas[J]. Agricultural Research in the Arid Areas,2009,27,(5):230－234.]

[27] 彭建刚,周月明,安文明,等. 奇台绿洲荒漠交错带生态系统服务功能价值评估研究[J]. 新疆农业科学,2010,47(8):1665－1670. [PENG Jiangang,ZHOU Yueming,AN Wenmin,et al. Assessment on functional value of ecosystem service in oasis and desert criss-cross zone in Qitai Region[J]. Xinjiang Agricultural Sciences,2010,47(8):1665－1670.]

[28] 岳东霞,杜军,巩杰,等. 民勤绿洲农田生态系统服务价值变化及其影响因子的回归分析[J]. 生态学报,2011,31(9):2567－2575. [YUE Dongxia,DU Jun,GONG Jie,et al. Dynamic analysis of farmland ecosystem service value and multiple regression analysis of the influence factors in Minqin Oasis[J]. Acta Ecologica Sinica,2011,31(9):2567－2575.]

[29] 白元,徐海量,凌红波,等. 塔里木河干流区土地利用与生态与生态系统服务价值的变化[J]. 中国沙漠,2013,33(6):1912－1920. [BAI Yuan,XU Hailiang,LING Hongbo,et al. Analysis land use changes and ecosystem services value in the area along the Tarim River[J]. Journal of Desert Research,2013,33(6):1912－1920.]

[30] 周天华,管彦芳,周京. 工程价值分析计算公式质疑[J]. 价值工程,2011,30 (14):68－69. [ZHOU Tianhua,GUAN Yanfang, ZHOU Jing. Question of the formula of engineering value[J]. Value Engineering,2011,30 (14):68－69.]

[31] 罗伯特·斯图尔特,邱菀华. 价值工程方法基础[M]. 北京:机械工业出版社,2007:6. [ROBERT Stewart,QIU Wanhua. Foundation of value engineering method[M]. Beijing:Machinery Industry Press,2007:6.]

[32] 张林静,岳明,张远东,等. 新疆阜康绿洲荒漠过渡带主要植物种的生态位分析[J]. 生态学报,2002,22(6):969－972. [ZHANG Linjin,YUE Ming,ZHANG Yuandong,et a1. Analysis on the niche of the main plant species of oasis-deserte-cotone in

Fukang of Xiniiang[J]. Acta Ecologica Siences,2002,22(6):969 - 972.]

[33] 陈秉谱,常兆丰,乔娟,等.退耕还林和荒山禁牧的相对生态价值的估算[J].干旱区地理,2013,36(6):1144 - 1152.[CHEN Binpu,CHANG Zhaofeng,QIAO Juan,et al. Estimation of relative ecological value of returning farmland to forest & mountain enclosure[J]. Arid Land Geography,2013,36(6):1144 - 1152.]

[34] 赵建林,常兆丰.相对生态价值的等值换算方法[J].农业工程,2014,4(5):78 - 83.[ZHAO Jianlin, CHANG Zhaofeng. Equivalant conversion method on relative ecological value[J]. Agricultural Engineering,2014,4(5):78 - 83.]

[35] 黄青,孙洪波,王让会,等.干旱区典型山地—绿洲—荒漠系统中绿洲土地利用/覆盖度变化对生态系统服务价值的影响[J].中国沙漠,2007,27(1):76 - 81.[HUANG Qing, SUN Hongbo,WANG Ranghui,et al. Effect of oasis land-use and land-cover change on ecosystem service values in typical mountain-oasis-desert system in arid region[J]. Journal of Desert Research,2007,27(1):76 - 81.]

[36] 赵军,杨凯.生态系统服务价值评估研究进展[J].生态学报,2007,27(1):346 - 356.[ZHAO Jun,YANG Kai. Valuation of ecosystem services: Characteristics, issues and prospects[J]. Acta Ecologica Siences,2007,27(1):346 - 356.]

[37] 程磊磊,郭浩,卢琦.荒漠生态系统服务价值评估研究进展[J].中国沙漠,2013,33(1):281 - 287.[CHENG Leilei,GUO Hao,LU Qi. Review on the valuation of desert ecosystem services values[J]. Journal of Desert Research,2013,33(1):281 - 287.]

Relative ecological value of vegetation restoration after migrating people from Qilian Mountains to Jingdian Irrigation Area

ZHAO Jian-lin[1], KANG De-kui[1], PENG Wei-en[1], WANG Jian-li[1], SHI Zhong-xing[1], CHEN Tian-shun[1], DONG Zhi-yang[1], WANG Jie[2], CHANG Zhao-feng[2]

(1 *Administration of Jingtaichuan Electric Lift Irrigation Project*, *Jingtai* 730400, *Gansu*, *China*;
2 *Gansu Desert Control Research Institute*, *Lanzhou* 730070, *Gansu*, *China*)

Abstract: In recent years, the study of service value of an ecosystem has become a hot issue in the field of ecology and ecological economics. As a wet island in the northwest arid area in China, Qilian Mountains has an important strategic position in "The Belt and Road" Initiative. Since the construction of Jingdian Irrigation Area, a large number of farmers and herdsmen have been migrated from the Qilian Mountains to the Jingdian Irrigation Area. Taking three counties, Jingtai, Gulang, and Tianzhu of Gansu Province, China, which locate in the mountainous area at the east end of Qilian Mountains as the research area, this paper analyzed the ecological value in returning farmland to forests and animal breeding grounds to pastures after the immigration from the Qilian Mountains to the Jingdian Irrigation Area using the value engineering method. The ecological value is $37.458\,1\times10^{8}$ Yuan among which the ecological value is $37.438\,6\times10^{8}$ Yuan in returning farmland to forest and grass, and 194.79×10^{4} Yuan of grassland vegetation after exiting grazing. This calculation result accounted for 93.52% of $40.054\,0\times10^{8}$ Yuan of the total value of ecosystem services which is obtained using Costanza and Xie Gaodi methods. The ecological values were respectively 25.8 and 27.6 times of 1.45×10^{8} Yuan which is the total annual cost of the Jingdian migration project. Two approximate calculation results showed that the ecological value of the migration is very prominent. It could also be seen that the model factors of Costanza and Xie Gaodi are suitable for the analysis of the ecological service value in Qilian Mountains.

Key words: Qilian Mountains; Jingdian Irrigation Area; exit land and grazing; return of forest and grass; relative ecological value